Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 1, Spring 2020, p. 63-79

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۷۹-۶۳

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی زیر حوضه کرخه جنوبی

سیامک نیک مهر[1]*- منصور زیبایی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم و سناریو تطبیقی بهبود راندمان آبیاری بر وضعیت کشاورزی زیر حوضه کرخه جنوبی با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی-اقتصادی می‌باشد. در بخش اقتصادی این مدل، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و در بخش هیدرولوژیکی از مدل WEAP و ماژول MABIA برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم استفاده‌شده است. نتایج مدل WEAP نشان می‌دهد که تغییر اقلیم موجب کاهش آب در دسترس در مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی می‌شود؛ اما اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف متفاوت است. آب در دسترس در مناطق پای پل و کرخه نور به ترتیب به میزان ۸/۲۹ و ۳۲/۷۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج ماژول MABIA نشان می دهد که تغییر اقلیم موجب تغییر عملکرد و نیاز آبی محصولات مختلف شده است. در میان محصولات مختلف، بیشترین و کمترین تغییر عملکرد مربوط به محصولات برنج و چغندر قند بوده است. به‌گونه‌ای که عملکرد این محصولات به میزان ۳۴ و ۱/۵ درصد کاهش می‌یابد. این تغییرات با افزایش نیاز آبی تمامی محصولات همراه می‌باشد. در نهایت، نتایج مدل برنامه‌ریزی ریاضی نشان داد که براثر تغییر اقلیم، سطح زیر کشت محصولات و سود کشاورزی در زیر حوضه کرخه جنوبی، نسبت به سناریو مرجع به ترتیب به میزان ۱۷/۹۳ و ۴۴ درصد کاهش می‌یابد؛ اما اتخاذ راهبرد تطبیقی بهبود راندمان آبیاری در این زیر حوضه موجب افزایش سود فعالیت‌های کشاورزی به میزان ۳۴۷ میلیارد ریال خواهد شد. بنابراین استفاده از روش‌های جدید آبیاری می‌تواند ریسک کشاورزی ناشی از تغییر اقلیم را در زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روش PMP، زیر حوضه کرخه جنوبی، سناریو تطبیقی، مدل WEAP

مقدمه

طی نیم‌قرن اخیر رشد صنایع، مصرف بیش‌ازحد سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار گازهای جاذب گرما موجب ایجاد پدیده تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان شده است (۲). این پدیده همان‌طوری که از فعالیت‌های گوناگون انسانی تأثیر می‌پذیرد، اثرات مختلفی بر فعالیت‌های انسان بر جای می‌گذارد. یکی از اثرات مهم تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، تحمیل خسارت‌های متعدد بر فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد (۲۴). بررسی خسارت‌های اقتصادی ناشی از تغییر اقلیم نشان می‌دهد که افزایش دمای کره زمین تا ۳ درجه سانتی‌گراد، موجب ایجاد خسارتی حدود ۱ تا ۱۴ درصد تولید ناخالص داخلی جهانی خواهد شد و درصورتی‌که این افزایش به ۵ درجه سانتی‌گراد برسد، خسارت اقتصادی بین ۲/۵ تا ۳۰ درصد تولید ناخالص داخلی جهانی برآورد گردیده است (۲۱). از سوی دیگر مطالعات اخیر بیانگر این است که تغییر اقلیم موجب افزایش ۲۰ درصدی کمبود آب در سرتاسر دنیا شده است (۳۴). با توجه به تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب و نقش کلیدی این منابع در کشاورزی، بخش کشاورزی بیشترین تأثیر را از این رویداد می‌پذیرد (۲۳). از این‌رو محققین پدیده تغییرات اقلیمی را به‌عنوان بزرگ‌ترین تهدید کشاورزی و امنیت غذایی در قرن ۲۱ معرفی نموده‌اند (۳۷).

به دلیل اثرات وسیع تغییرات اقلیمی و کمبود آب بر وضعیت اقتصادی کشاورزان، تلاش‌های متعددی درزمینه ی سازگاری با این تغییرات در اشکال و زمان‌های مختلف صورت گرفته است (۱۶ و ۲۹). یکی از راه‌های سازگاری با تغییر اقلیم، بهبود بهره‌وری آب می‌باشد. افزایش بهره‌وری آب، موجب تولید محصول بیشتر به ازای هر واحد آب مصرفی می‌شود، درنتیجه تکیه کشاورزی به بارش نامنظم باران که ناشی از تغییر اقلیم است را کاهش می‌دهد. بر اساس دیدگاه مولدن و همکاران (۲۶) یکی از مهم‌ترین شیوه‌های بهبود بهره‌وری آب، افزایش راندمان آبیاری در سطح مزرعه است. در این روش از طریق اقداماتی نظیر پوشش انهار، آبیاری قطره‌ای و آبیاری خشک و تر درکشت برنج، نفوذ عمقی غیرقابل‌وصول و رواناب سطحی کاهش

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست و استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: s_nikmehr@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jead2.v33i4.84531

داده می‌شود. با افزایش راندمان آبیاری، امکان افزایش تولید محصولات کشاورزی به میزان ۲۰ تا ۷۰ درصد و صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۳۰ تا ۶۰ درصد فراهم می‌شود (۳۳).

گزارش هفتم هیئت تغییر اقلیم[1]، حاکی از رخ دادن پدیده تغییر اقلیم طی دهه‌های اخیر در ایران رخ بوده است. همچنین پیش‌بینی‌ها، بیانگر شدت بیشتر وقوع آن در آینده می‌باشد. به‌گونه‌ای که پیش‌بینی‌های این هیئت برای ایران تحت سناریو تغییر اقلیم A1 نشان‌دهنده افزایش متوسط درجه حرارت تا ۲ درجه سانتی‌گراد در ۳۰ سال آینده و ۳/۵-۴ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰۰ سال آینده می‌باشد (۱۳). از سوی دیگر، برخورداری از آب هوای گرم خشک موجب تشدید پدیده تغییر اقلیم و ایجاد تهدیدهای جدی برای منابع آبی کشور و در نتیجه عدم توانایی پاسخگویی به نیازهای شرب، زیست‌محیطی، صنعتی و کشاورزی شده است (۲۲ و ۳۴).

کرخه بزرگ‌ترین حوضه آبریز ایران بعد از کارون و دز است که در مرز غربی کشور واقع شده و دارای موقعیت استراتژیک می‌باشد. این حوضه دارای ۵ زیر حوضه کشکان، قره‌سو، گاماسیاب، سیمره و کرخه جنوبی است (۱۲). محدوده زیر حوضه کرخه جنوبی از سد کرخه آغاز شده و تا تالاب هورالعظیم ادامه پیدا می‌کند. در حال حاضر پای پل، قدس-کوثر، حمیدیه، دشت آزادگان و کرخه نور مهم‌ترین نواحی کشاورزی زیر حوضه کرخه جنوبی را تشکیل می‌دهند؛ اما نتایج پژوهش‌های گوناگون بیانگر وقوع تغییر اقلیم در حوضه آبریز کرخه و تأثیر آن بر منابع آب این حوضه و بخصوص کرخه جنوبی در افق ۱۰۰ ساله است (۱۹، ۴، ۱۰ و ۳۸). همچنین، با توجه به مشکلاتی مانند عدم پوشش بتنی کانال‌های آبیاری، انجام نشدن عملیات تعمیر و نگهداری شبکه‌ها و عدم استفاده بهره‌برداران از روش‌های نوین آبیاری، راندمان آبیاری در حوضه کرخه جنوبی بسیار پایین می‌باشد (۱۷).

با توجه به مسائل فوق، بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر وضعیت اقتصادی، کشاورزی و هیدرولوژیکی زیر حوضه کرخه جنوبی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد؛ اما به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر الگوی کشت و سود کشاورزان روش‌های متعددی وجود دارد. برخی مطالعات برای این منظور بدون در نظر گرفتن وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبریز از تلفیق سناریوهای تغییر اقلیم، روش‌های آماری و مدل اقتصادی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[2] استفاده نمودند (۲۷، ۲۴ و ۷)؛ اما با توجه به اینکه تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس و درنتیجه عملکرد محصولات کشاورزی اثر مستقیم دارد، نیاز است که وضعیت کنونی و آینده حوضه آبریز شبیه‌سازی شود. بر این اساس، مطالعات مختلفی از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به‌منظور بررسی اثرات شاخص‌های اقلیمی در وضعیت آینده منابع آب استفاده نموده‌اند (۲۵، ۲۸ و ۱). جمالی و همکاران (۱۹) و اشرف واقفی و همکاران (۴) نیز با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار، اثرات تغییر اقلیم را بر تخصیص آب در حوضه رودخانه کرخه مورد بررسی قرار دادند. فرج زاده و همکاران (۱۰) نیز اثر تغییر اقلیم بر سیستم تأمین آب حوضه آبریز کرخه را با استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو و چند سناریوی انتشار برای افق زمانی ۲۰۵۰، مورد بررسی قراردادند. سپس از واسنجی یک مدل بارش-رواناب، سری‌های زمانی بارش و دما، برای تولید سری زمانی آورد رودخانه به کار گرفتند. درنهایت با استفاده از مدل WEAP، سه استراتژی مدیریتی افزایش راندمان آبیاری، استفاده مجدد آب و تغییر الگوی کشت برای سازگاری با تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دادند.

اما ازجمله ایرادات مدل‌های هیدرولوژیکی این است که با استفاده از این مدل‌ها، نمی‌توان اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت اقتصادی کشاورزان و سود آن‌ها را به‌صورت کامل بررسی نمود. همچنین در این مدل‌ها سامانه‌های کشاورزی معمولاً با الگوی کشت ثابت در مناطق مختلف مشخص می‌شوند. با توجه به ایرادات گفته شده، برخی مطالعات از مدل‌های اقتصادی-هیدرولوژیکی به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم استفاده نمودند. استیو و همکاران (۹) از تلفیق مدل بهینه‌سازی مزرعه محور، WEAP[3] و ماژول MABIA به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و روش‌های انطباق با آن در حوضه رودخانه گوادیانا (پرتغال و اسپانیا) استفاده کردند. در این مطالعه اثر سناریو تغییر اقلیم A2 بر وضعیت هیدرولوژیکی و کشاورزی حوضه گوادیانا تا افق ۲۰۷۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر اقلیم موجب افزایش نیاز آبی و کاهش عملکرد اکثر محصولات کشاورزی خواهد شد. در مطالعه‌ای دیگر فورنی و همکاران (۱۱) از مدل‌های WEAP-MABIA و برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای پیش‌بینی اقدامات اقتصادی کشاورزان در پاسخ به تغییرات آب در دسترس ناشی از تغییر اقلیم در حوضه آبریز سن خواکین (ایالات‌متحده) استفاده نمودند. در میان مطالعات داخلی نیز، حسینی و همکاران (۱۳) با استفاده از خروجی مدل‌های هواشناسی، مدل شبکه‌های عصبی هیدرولوژیک، توابع واکنش عملکرد محصول- آب و برنامه‌ریزی ریاضی مثبت اثر تغییر اقلیم را بر میزان آب در دسترس، عملکرد محصولات کشاورزی و درنتیجه وضعیت اقتصادی کشاورزان حوضه آبریز زاینده‌رود مورد بررسی قراردادند.

اما هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و راهبرد تطبیقی بهبود راندمان آبیاری بر وضعیت هیدرولوژیکی، اقتصادی و کشاورزی زیر حوضه کرخه جنوبی در افق زمانی ۲۰۵۰ می‌باشد. برای این منظور، در پژوهش حاضر همانند استیو و همکاران

1- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)
2- Positive Mathematical Programming (PMP)
3-Water Evaluation and Planning System

(۹) و فورنی و همکاران (۱۱) از تلفیق مدل WEAP و ماژول زراعی MABIA برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی و زراعی زیر حوضه کرخه جنوبی استفاده شد. بررسی مطالعات داخلی نشان داد، تاکنون هیچ‌کدام از مطالعات داخلی از روش MABIA در کنار مدل WEAP برای شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی استفاده نکرده‌اند. در ادامه نیز همانند مطالعات (۲۷، ۲۴ و ۷) از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به‌منظور ارزیابی تأثیرات اقتصادی تغییر اقلیم استفاده شده است. درواقع برخلاف مطالعات جمالی و همکاران (۱۹)، اشرف واقفی و همکاران (۴) و فرج زاده و همکاران (۱۰)، علاوه بر تأثیرات هیدرولوژیکی، اثرات اقتصادی تغییر اقلیم در زیر حوضه کرخه جنوبی نیز مورد بررسی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

چارچوب مفهومی

چارچوب مفهومی مدل اقتصادی-هیدرولوژیکی مورد استفاده در شکل (۱) ارائه شده است. بر اساس این نمودار در این مطالعه ابتدا به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی، از مدل WEAP استفاده شد. سپس نتایج مطالعه زهرایی (۳۸) در قالب سناریو تغییر اقلیم وارد مدل WEAP شد. زهرایی (۳۸) از خروجی‌های مدل HadCM3[1] تحت سناریو B2 تا افق ۱۰۰ ساله استفاده برده و اثرات این سناریوها بر بیلان آب سطحی در این حوضه آبریز را با استفاده از مدل‌سازی بیلان آبی ماهانه ارزیابی نموده است؛ بنابراین برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی، این سناریو وارد مدل هیدرولوژیکی WEAP شده و تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس مناطق مختلف کشاورزی این زیر حوضه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با بهره‌گیری از ماژول زراعی MABIA، اثر کاهش میزان آب در دسترس بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشت‌شده در این مناطق اندازه‌گیری شد. در بخش دوم مدل، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و نرم‌افزار GAMS، برای ارزیابی اثر سناریوهای تغییر اقلیم و بهبود راندمان آبیاری بر الگوی کشت و سود کشاورزی در مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی استفاده شده است.

مدل WEAP

مدل WEAP تقاضای آب بخش‌های مختلف (صنعت، کشاورزی، شرب و محیطزیست) را با مدنظر قرار دادن اولویت‌های تخصیص شبیه‌سازی می‌نماید (۵). این مدل در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و مخازن آب) لحاظ می‌کند (۳۵). این مدل از یک روش برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تأمین تقاضای بخش‌های مختلف با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر محدودیت‌ها است (۳۶). میزان آب در دسترس هر منطقه و شاخص قابلیت اطمینان، ازجمله خروجی‌های مهم مدل WEAP می‌باشند. منظور از اطمینان‌پذیری یا قابلیت اطمینان این است که آب تخصیص‌یافته به مصرف‌کننده، با چه احتمالی نیاز آن را تأمین خواهد کرد یا سیستم تا چه حد در حالت مطمئن و عدم شکست کار خواهد کرد. این شاخص توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$Rel^j = \frac{N_s}{T} \times 100\% \qquad \forall t = 1, 2, \ldots T; \quad 0 \le Rel^j \le 100\% \tag{۱}$$

که در آن N_s نشان‌دهنده تعداد گام‌های زمانی است که نیاز مصرف کننده j ام به‌طور کامل تأمین‌شده و کمبود آب برابر صفر بوده است. T نیز تعداد کل گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی یا دوره مورد بررسی می‌باشد (۳۲).

مدل MABIA

MABIA یکی از ماژول‌های موجود در مدل WEAP است که برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و آبیاری به کار گرفته می‌شود. این روش که توسط جبلون و سهلی (۱۸) در موسسه ملی کشاورزی تونس[2] توسعه داده شده است، با استفاده از اطلاعات مختلف زراعی، هیدرولوژیکی و هواشناسی، عملکرد و نیاز آبی محصولات زراعی را شبیه‌سازی می‌کند. فرایند کار این ماژول شامل مراحل زیر است:

۱- محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان

در ماژول MABIA تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از مدل فائو- پنمن-مانتیث[3] که توسط آلن و همکاران (۳) ارائه‌شده است، محاسبه می‌شود. برای محاسبه تبخیر و تعرق اطلاعات هواشناسی مانند دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ساعات آفتابی روزانه مورد نیاز می‌باشد.

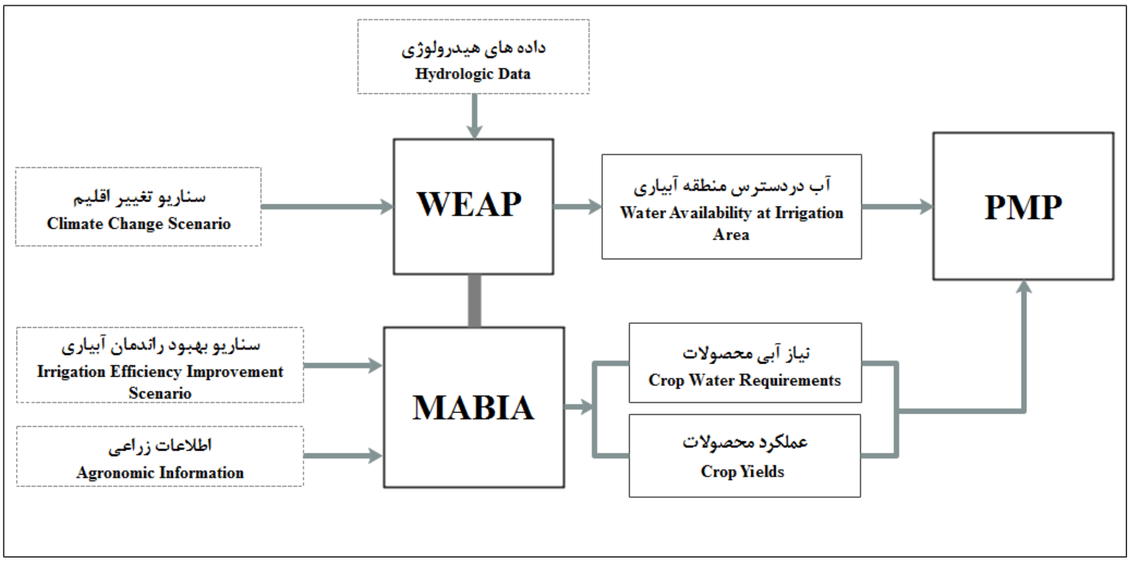
۲- محاسبه ظرفیت آب در دسترس[4]

1- Hadley Centre Coupled Model, version 3

2- National Agronomic Institute of Tunisia

3- FAO Penman-Monteith

4- Available Water Capacity(AWC)



شکل ۱- چارچوب مفهومی

Figure 1- Conceptual framework

به‌منظور محاسبه ظرفیت آب در دسترس، باید داده‌های مربوط به ظرفیت نگهداری آب خاک در نقاط اشباع[1]، ظرفیت مزرعه[2] و پژمردگی[3] وجود داشته باشد؛ اما ظرفیت آب خاک در نقاط مذکور، با توجه به نوع بافت خاک منطقه، متفاوت می‌باشد.

۳- تخمین میزان آب آبیاری

برای تخمین میزان آب آبیاری مورد نیاز محصولات کشاورزی هر منطقه، باید اطلاعات مربوط به برنامه زمان‌بندی آبیاری و عمق آبیاری در اختیار مدل قرار گیرد.

۴- شبیه‌سازی عملکرد محصولات

ماژول MABIA برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات گیاهان، از رابطه (۲) استفاده می‌کند:

$$1-\frac{Y_a}{Y_m}=K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_c}\right) \qquad (۲)$$

در این رابطه Y_a عملکرد واقعی محصول، Y_m عملکرد حداکثر، K_y فاکتور واکنش-عملکرد، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و ET_c تبخیر و تعرق در شرایط مشابه واقعی ولی بدون محدودیت آبی می‌باشد (۶). فاکتور واکنش-عملکرد در مدل MABIA، برای مراحل رشد محصولات مختلف ارائه شده است.

در این پژوهش ابتدا از مدل WEAP برای شبیه‌سازی وضعیت هیدرولوژیک زیر حوضه کرخه جنوبی استفاده شد. برای این منظور سال ۲۰۱۸ به‌عنوان سال پایه و دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۹ برای مقایسه سناریوهای مرجع، تغییر اقلیم و راهبرد تطبیقی در نظر گرفته شد. بعد از شبیه‌سازی وضعیت هیدرولوژیک مدل با استفاده از ابزار PEST[4] واسنجی[5] شد. واسنجی مدل، فرآیندی است که طی آن تعدادی از پارامترهای ورودی آن‌قدر تغییر داده می‌شوند تا مقادیر دبی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با مقادیر دبی مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری انطباق پیدا کنند (۲۰). فرآیند انجام واسنجی توسط این ابزار به‌صورت کامل توسط دوهرتی[6] (۸) ارائه شده است. در تحقیق حاضر برای این منظور دبی مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری هویزه با دبی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل مقایسه شد.

در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده بارندگی، دمای حداقل و حداکثر و همچنین آورد رودخانه در ایستگاه هیدرومتری پای پل که از مطالعه زهرایی (۳۸) به دست آمد، اثر سناریوهای تغییر اقلیم B2 بر میزان آب در دسترس نواحی کشاورزی، نیاز آبی و عملکرد محصولات درزیرحوضه آبریز کرخه جنوبی طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تغییر راندمان آبیاری مناطق مختلف کشاورزی در ماژول MABIA، تأثیر این راهبرد بر عملکرد و نیاز آبی محصولات مورد بررسی قرار گرفت.

برای اجرای مدل WEAP در حوضه آبریز کرخه، اطلاعات مختلفی مورد نیاز بود. داده‌های مربوط به مشخصات سد کرخه،

1-Saturation point
2- Field capacity
3- Wilting point

4- Parameter Estimation Tool
5- Calibration
6- Doherty

داده‌های تقاضای ماهانه آب شرب و واحدهای پرورش ماهی، حق آبه تالاب هورالعظیم و دبی مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان آب و برق خوزستان جمع‌آوری گردید؛ اما داده‌های موردنیاز مدل MABIA ازجمله اطلاعات هواشناسی، خاکشناسی، ضرایب گیاهی، برنامه (دفعات و عمق آبیاری) و راندمان آبیاری تبخیر–تعرق گیاه مرجع نیز از طریق بررسی گزارش‌های ارائه‌شده در مورد حوضه کرخه، بدست آمد.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

در این مطالعه به‌منظور بررسی اثرات سناریوهای اقلیمی و بهبود راندمان آبیاری بر تغییر الگوی کشت زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی از مدل اقتصادی PMP استفاده می‌شود. یک مدل PMP شامل سه مرحله است. در مرحله نخست، با فرض بیشینه‌سازی سود، الگوی اولیه به‌صورت مدل زیر تصریح می‌گردد. این الگو با استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون مقادیر سال پایه را بازتولید می‌کند (۳۱، ۱۵):

$$MaxZ = \sum_{i=1}^{n} P_i Y_i X_i - \sum_{i=1}^{n} C_i X_i \quad (۳)$$

$$s.t:$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \le X^{land} \quad [\lambda_{land}] \quad (۴)$$

$$ETAG_{im} = ETA_{im} / Ef.irr$$

$$\sum_{i=1}^{i} ETAG_{im} X_i \le WAT_m \quad \forall\ m=1,\dots,12 \quad [\lambda_{wm}] \quad (۵)$$

$$X_i \le X_{0i} + \varepsilon \ [\rho_i] \quad \forall i = 1,2,\cdots,n \quad (۶)$$

$$X_i \ge 0$$

رابطه (۳) تابع هدف الگوی برنامه‌ریزی خطی است که در آن اندیس i بیانگر محصول، X_i متغیر تصمیم سطح زیر کشت اختصاص‌یافته به محصول i ام، P_i قیمت هر واحد محصول، Y_i مقدار عملکرد محصول i ام در واحد سطح و C_i مجموع هزینه‌های متغیر متوسط در واحد سطح زیر کشت هر محصول است. رابطه (۴) محدودیت اراضی کشاورزی هر منطقه است که در آن X^{land} کل موجودی زمین قابل‌کشت در سطح حوضه آبریز است. در رابطه (۵) ETA_{im}، $ETAG_{im}$ به ترتیب مقدار تبخیر و تعرق واقعی محصول (نیاز آبی خالص) i ام در ماه m ام و نیاز آبی ناخالص در مراحل رشد محصول i ام در ماه m ام می‌باشد. همچنین WAT_m و $Ef.irr$ نیز نشان‌دهنده میزان آب در دسترس در هر منطقه و راندمان آبیاری است. رابطه (۶) قید کالیبره سازی است که سطوح کشت هر محصول در الگو (X_i) را به سطوح کشت مشاهده‌شده در سال پایه (X_{0i}) محدود می‌سازد. λ_{land} و λ_{wm} به ترتیب ارزش‌های سایه‌ای منابع آب و زمین می‌باشند. ρ_i مقادیر دوگان (قیمت سایه‌ای) تولید هر محصول می‌باشد. در مرحله دوم، مقادیر دوگان به‌دست‌آمده از مرحله نخست برای برآورد پارامترهای تابع هدف غیرخطی بکار می‌روند؛ به‌گونه‌ای که سطوح فعالیت مشاهده شده در دوره پایه به‌وسیله الگوی غیرخطی یاد شده و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید شود. فرض می‌شود تابع هزینه چند محصولی دارای شکل تابعی درجه دوم، مشابه رابطه (۷) باشد (۳۰):

$$C^v(x) = d'X_i + \frac{1}{2} X_i' Q X_i \quad (۷)$$

که در آن d' بردار $(n \times l)$ از پارامترهای جزء خطی تابع هزینه، Q ماتریس نیمه معین مثبت با ابعاد $(n \times n)$ از پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه است (۱۳). بر اساس رابطه (۸) بردار هزینه نهایی (MC^v) مربوط به تابع هزینه فوق برابر با مجموع بردار هزینه c و بردار هزینه نهایی تفاضلی ρ می‌باشد (۳۰).

$$MC^v = \nabla C^v(x)'_{x_0} = d + Q_{x_0} = c + \rho \quad (۸)$$

$\nabla C^v(x)_{x_0}$ بردار گرادیان از مشتقات مرتبه نخست $C^v(x)$ برای $x = x_0$ با ابعاد $(l \times n)$ می‌باشد.

در گام سوم، تابع هزینه غیرخطی برآورده شده در مرحله پیش در تابع هدف مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرد و تابع هدف غیرخطی یاد شده در یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون، ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی به‌صورت مدل (۹) بکار می‌رود:

$$Maximize\ Z = \sum_{i=1}^{n} P_i Y_i X_i - \hat{d}' X_i - \frac{1}{2} X_i' Q X_i$$

$$s.t:$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \le X^{land} \quad [\lambda_{land}]$$

$$ETAG_{im} = ETA_{im} / Ef.irr$$

$$\sum_{i=1}^{i} ETAG_{im} X_i \le WAT_m \quad \forall\ m=1,\dots,12 \quad [\lambda_{wm}] \quad (۹)$$

$$X_i \ge 0$$

در مدل (۹) بردار $\hat{d}'$ و ماتریس $\hat{Q}$ پارامترهای کالیبره شده تابع هدف غیرخطی را نشان می‌دهند. اکنون مدل غیرخطی کالیبره شده فوق به‌طور صحیح سطوح فعالیت‌های مشاهده‌شده در وضعیت پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را بازتولید می‌کند و جهت شبیه‌سازی تغییرات در پارامترهای موردنظر آماده می‌باشد. همان‌طور که در این رابطه مشخص است، مدل مرحله سوم در مقایسه با مدل مرحله اول، فاقد محدودیت‌های کالیبراسیون بوده و تابع هدف آن نیز غیرخطی است.

بعد از اجرای گام سوم، به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سود کشاورزی و سطح زیر کشت محصولات در مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی، عملکرد و نیاز آبی خالص محصولات و همچنین میزان آب در دسترس جدید که با اعمال سناریو تغییر اقلیم بدست آمدند، تحت عنوان سناریو جدید وارد مدل PMP شد. سپس با اعمال عملکرد و نیاز آبی جدید بدست آمده از به‌کارگیری راهبرد تطبیقی بهبود راندمان در MABIA و همچنین افزایش راندمان آبیاری به میزان ۲۰ درصد در مدل PMP، نتیجه به‌کارگیری این راهبرد در بهبود اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی مورد بررسی قرار گرفت.

برای اجرای مدل اقتصادی، آمار و اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، قیمت و عملکرد محصولات در مناطق مختلف از جهاد کشاورزی استان خوزستان و مصاحبه حضوری و جمع‌آوری ۱۸۰ پرسشنامه از کشاورزان زیر حوضه کرخه جنوبی به دست آمد. به‌منظور محاسبه حجم نمونه نیز از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چند مرحله‌ای استفاده شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ علاوه بر راندمان کل آبیاری، نتایج اعمال سناریو تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس و قابلیت اطمینان تأمین آب نواحی مختلف کشاورزی این زیر حوضه طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ گزارش‌شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که با وقوع تغییر اقلیم آب در دسترس و قابلیت اطمینان عرضه آب در نواحی کشاورزی مختلف به میزان چشم‌گیری کاهش خواهد یافت. به‌گونه‌ای که تغییر اقلیم موجب کاهش میانگین آب در دسترس کل مناطق آبیاری زیر حوضه کرخه جنوبی به میزان ۲۱ درصد می‌شود. همچنین میانگین قابلیت اطمینان تأمین آب زیر حوضه نیز از ۸۳ به ۵۷ درصد خواهد رسید؛ اما اثر تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس مناطق کشاورزی متفاوت می‌باشد. به‌گونه‌ای که آب در دسترس منطقه پای پل به میزان ۸/۲۹ درصد کاهش خواهد یافت. منطقه پای پل در بالادست زیر حوضه کرخه جنوبی قرار دارد و نزدیک‌ترین منطقه به سد کرخه می‌باشد؛ بنابراین تغییر اقلیم کمترین تأثیر را بر میزان آب در دسترس این منطقه گذاشته است.

از طرفی در ناحیه کرخه نور میزان کاهش به ۳۲/۷۶ درصد می‌رسد. با توجه به رخ دادن تغییر اقلیم و افزایش نیاز آبی بخش‌های مختلف (کشاورزی، شرب)، تقاضای آب در بالادست به میزان زیادی افزایش می‌یابد؛ بنابراین آب در دسترس منطقه کرخه نور که در پایین‌دست حوضه قرار دارد، به میزان زیادی کاهش می‌یابد. درواقع قرار گرفتن ناحیه کشاورزی کرخه نور در پایین‌دست حوضه، موجب تشدید اثرات تغییر اقلیم بر آب در دسترس این منطقه خواهد شد. با توجه به قابلیت اطمینان ۶۶ درصدی تأمین آب در این ناحیه، می‌توان نتیجه گرفت که در حالت پایه نیز منطقه کشاورزی کرخه نور، نسبت به سایر مناطق با مشکل کم‌آبی بیشتری مواجه است و تغییر اقلیم موجب تشدید و پیچیده‌تر شدن مشکل کم‌آبی در این منطقه خواهد شد؛ اما بیشترین کاهش شاخص قابلیت اطمینان در نواحی دشت آزادگان و حمیدیه رخ داده است و احتمال تأمین آب مورد نیاز این دو ناحیه حدود ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت. ستون دوم جدول ۱ نیز نشان می‌دهد که میانگین راندمان کل آبیاری نواحی مختلف کشاورزی زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی ۴۶ درصد است بر این اساس، سناریو بهبود راندمان آبیاری به میزان ۲۰ درصد در تمامی مناطق کشاورزی به‌عنوان یک استراتژی تطبیقی برای کاهش آثار تغییر اقلیم انتخاب شد.

در جدول ۲ عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی در حالت پایه، اعمال سناریو تغییر اقلیم و سناریو تغییر اقلیم به‌علاوه بهبود راندمان آبیاری ارائه‌شده است. با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم در نرم‌افزار WEAP و ماژول MABIA، میانگین تغییرات نیاز آبی و عملکرد محصولات کشاورزی طی دوره شبیه‌سازی مطابق ستون‌های پنجم و ششم جدول ۲ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که سناریو تغییر اقلیم B2 موجب افزایش نیاز آبی تمامی محصولات در افق ۲۰۵۰ خواهد شد؛ اما در میان محصولات مختلف بیشترین و کمترین تغییر نیاز آبی در مورد محصولات برنج و چغندر قند به ترتیب با ۲۲/۴۳ و ۱/۱۱ درصد رخ می‌دهد. اما بر اساس نتایج، این موضوع قابل ذکر است که افزایش نیاز آبی درکنار کاهش آب در دسترس نواحی مختلف کشاورزی موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در سطح زیر حوضه کرخه خواهد شد. به‌گونه‌ای که عملکرد محصولات گندم و گوجه‌فرنگی درکشت زمستانه به میزان ۱۴/۶۱ و ۱۷/۲۵ درصد و عملکرد محصولات برنج و ماش درکشت تابستانه به میزان ۳۴/۰۵ و ۳۰/۸۵ کاهش می‌یابد.

با توجه به نیاز آبی بالای محصول برنج و همچنین سنتی بودن کشت آن در منطقه، تنش‌های آبی ناشی از تغییر اقلیم بیشترین تأثیر را بر عملکرد محصول برنج خواهد گذاشت؛ اما ازآنجا که محصول چغندر قند فقط در یک منطقه (پای پل) کشت شده است و این منطقه کمترین تأثیر را از تغییر اقلیم خواهد گرفت، لذا بر اساس جدول ۲ پدیده تغییر اقلیم، در میان محصولات مختلف کمترین تأثیر را بر چغندر قند خواهد داشت؛ اما نتایج اعمال سناریو تغییر اقلیم را می‌توان این‌گونه جمع‌بندی کرد که تغییر اقلیم، بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشت تابستانه، تأثیر بیشتری خواهد گذاشت؛ زیرا در فصل‌های گرم سال با توجه به دمای بالا و عدم بارش باران در منطقه، نیاز به عملیات آبیاری افزایش می‌یابد؛ بنابراین با کاهش آب در دسترس، عملکرد محصولات در این فصل به میزان بیشتری کاهش می‌یابد.

جدول ۱- مقایسه آب در دسترس و قابلیت اطمینان عرضه آب در حالت پایه و سناریو تغیر اقلیم
Table 1- Comparison of available water and water supply reliability in baseline and climate change scenario

نواحی کشاورزی Agricultural area	راندمان آبیاری (درصد) Irrigation efficiency (%)	حالت پایه Baseline		سناریو تغییر اقلیم Climate Change Scenario	
		آب در دسترس (میلیون مترمکعب) Available water (MCM)	قابلیت اطمینان (درصد) Reliability (%)	آب در دسترس (درصد تغییر) Available water (% change)	قابلیت اطمینان (درصد) Reliability (%)
پای پل Payepol	45	259.37	90.68	-8.29	70.6
کوثر- قدس Kosar-Ghods	50	158.65	86.51	-16	65.4
حمیدیه Hamidieh	45	188.60	85.04	-26.80	65.4
دشت آزادگان Dasht e Azadegan	50	270.94	86.51	-21.59	65.4
کرخه نور Karkheh Noor	40	327.76	66.42	-32.76	49.8
میانگین Average	46	1205.22	83.03	-21.08	57.22

مأخذ: یافته‌های پژوهش
Source: Research findings

نتایج اعمال راهبرد تطبیقی بهبود راندمان آبیاری بر عملکرد و نیاز آبی محصولات نیز در ستون‌های هفتم و هشتم جدول ۲ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج این جدول، راهبرد بهبود راندمان آبیاری موجب تخفیف اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات مختلف (به ویژه محصول برنج) خواهد شد. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که به‌کارگیری این راهبرد تأثیر چندانی بر نیاز آبی خالص (تبخیر و تعرق واقعی محصولات) نخواهد گذاشت. درواقع به‌کارگیری این سناریو (بهبود راندمان آبیاری به میزان ۲۰ درصد) با جلوگیری از هدر رفتن آب، موجب کاهش نیاز آبی ناخالص خواهد شد.

در جداول ۳، ۴ و ۵ الگوی کشت رایج مناطق، میزان تغییر الگوی کشت تحت سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر اقلیم به‌علاوه بهبود راندمان آبیاری در زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی ارائه شده است. نتایج اعمال سناریو تغییر اقلیم نشان می‌دهد که کاهش آب در دسترس موجب ایجاد تغییرات گسترده و ناهمگنی در الگوی کشت نواحی مختلف کشاورزی شده است. به‌گونه‌ای که با اعمال سناریو مجموع سطح زیر کشت زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی به میزان ۱۷/۹۳ درصد کاهش یافته است. همچنین میزان تغییرات در مناطق مختلف زیر حوضه متفاوت می‌باشد.

بررسی الگوی کشت رایج در منطقه پای پل نشان می‌دهد که محصول گندم با ۱۳۱۹۵ هکتار، با اختلاف زیاد مهم‌ترین محصول کشت زمستانه در منطقه پای پل می‌باشد. از سوی دیگر چغندر قند و پیاز محصولات اختصاصی منطقه پای پل می‌باشند. محصول ذرت نیز با ۲۸۵۸ هکتار، محصول اصلی کشت تابستانه در منطقه پای پل باشد؛ اما با مشاهده نتایج جدول ۳ مشخص می‌شود که اعمال سناریو تغییر اقلیم موجب کاهش ۶ درصدی محصول گندم خواهد شد. میزان کاهش سطح زیر کشت محصول چغندر قند نیز حدود ۳ درصد است که کمتر از سایر محصولات می‌باشد. دلیل این موضوع تأثیر کم تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد این محصول است. همچنین این سناریو باعث کاهش ۱۴ درصدی سطح زیر کشت محصول ذرت خواهد شد. بیشترین تغییر در سطح زیر کشت محصولات نیز در مورد برنج رخ داده است (حدود ۲۰ درصد). بر اثر این تغییرات، در مجموع سطح زیر کشت و سود در منطقه پای پل به ترتیب ۸/۳ و ۲۳ درصد کاهش خواهد یافت که کمترین تأثیر در میان مناطق مختلف می‌باشد. از آنجا که سطح زیر کشت محصولات اصلی (گندم، ذرت و برنج) در منطقه پای پل کمتر از مناطق دیگر کاهش یافته است، این نتایج قابل توجیه می‌باشد. از سوی دیگر بررسی نتایج اعمال سناریو تطبیقی نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری در این منطقه موجب کاهش اثرات تغییر اقلیم شده است. به‌گونه‌ای که اتخاذ این سناریو سطح زیر کشت و سود کشاورزی منطقه پای پل را به ترتیب ۷/۸ و ۱۱ درصد افزایش می‌دهد. این نتیجه را می‌توان چنین تفسیر کرد که بهبود راندمان آبیاری در این منطقه موجب افزایش سطح زیر کشت محصولات گندم، جو، کلزا و چغندر قند حتی بیشتر از حالت پایه خواهد شد. همچنین وضعیت کشت محصولات برنج و ذرت که از محصولات اصلی تابستان هستند، نیز به میزان زیادی بهبود یافته است. بنابراین

بهبود راندمان آبیاری از طریق افزایش عملکرد، کاهش نیاز آبـی و در نتیجه افزایش سطح زیر کشت این محصولات توانسته است تا حـدود زیادی اثرات تغییر اقلیم را در این منطقه خنثی نماید.

جدول ۲- مقایسه نیاز آبی و عملکرد محصولات در حالت پایه و سناریوهای تغیر اقلیم و بهبود راندمان آبیاری

Table 2- Comparison of water requirement and crop yield in baseline, climate change and Irrigation Efficiency Improvement scenario

فصل Season	محصول	حالت پایه Baseline		تغییر اقلیم Climate change		سناریو بهبود راندمان آبیاری+ تغییر اقلیم Irrigation efficiency Improvement+Climate change	
		نیاز خالص آبی (متر مکعب) Water requirement	عملکرد (تن) Yield	نیازخالص آبی (درصد تغییر) Water requirement (% change)	عملکرد (درصد تغییر) Yield (% change)	نیازخالص آبی (درصد تغییر) Water cequirement (% change)	عملکرد (درصد تغییر) Yield (% change)
زمستان Winter	گندم Wheat	4870	4.42	+10.88	-14.61	+9.60	-7.25
	جو Barley	4870	3.19	+10.16	-12.72	+8.95	-5.04
	کلزا Canola	4450	1.55	+11.09	-9.12	+8.76	-5.24
	گوجه‌فرنگی Tomato	5485	33.97	+8.25	-17.25	+6.10	-9.88
	پیاز Onion	4243	24.80	+8.73	-8.81	+6.54	-6.24
	چغندرقند Sugar beet	8745	57.80	+1.11	-1.5	+0.25	+0.1
تابستان Summer	ماش Mung bean	8093	0.77	+20.35	-30.85	+18.15	-23.25
	خیار Cucumber	5955	15	+19.30	-23.06	+16.80	-15.12
	هندوانه Watermelon	7729	34	+19.78	-29.35	+16.31	-21.76
	ذرت Maize	6707	6.27	+16.63	-26.73	+14.74	-18.22
	برنج Rice	14721	4.12	+22.43	-34.05	+19.47	-22.74
	کنجد Sesame	5700	1	+9.42	-7.31	+5.49	-5.44
	لوبیا Bean	4358	1.53	+11.75	-10.62	+8.41	-7.14

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

اعمال سناریو تغییر اقلیم در ناحیه آبیاری کوثر-قـدس درمجمـوع موجب کاهش ۳۷ درصدی سود کشاورزی خواهد شد. از آنجـا کـه دو محصول گندم و برنج با ۷۵۶۰ و ۱۶۵۹ هکتار، کشت غالب دو فصـل زمستان و تابستان را در این منطقه تشـکیل مـی‌دهنـد، دلیـل اصـلی کاهش سود این منطقه را می‌توان کـاهش ۱۴ و ۳۲ درصـدی سـطح زیر کشت این دو محصول دانست. همچنین نتایج نشان می‌دهـد کـه

بر اثر این سناریو، محصول ماش به‌صورت کامل از الگوی کشت حذف خواهد شد. دلیل این نتیجه را می‌توان در سود کمتر محصول ماش نسبت به سایر محصولات جست‌وجو کرد؛ زیرا با رخ دادن پدیده تغییر اقلیم، عملکرد و درنتیجه سود کشت هر هکتار این محصول بیش‌ازپیش کاهش خواهد یافت؛ اما اعمال استراتژی تطبیقی بهبود راندمان آبیاری موجب افزایش ۱۳۵۹ هکتاری سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی نسبت به سناریو تغییر اقلیم خواهد شد. همچنین برخلاف حالت تغییر اقلیم، امکان کاشت محصول ماش نیز فراهم می‌شود. از سوی دیگر به‌کارگیری این راهبرد تطبیقی در منطقه، موجب افزایش سود کشاورزی به میزان ۴۰ میلیارد ریال خواهد شد. دلیل افزایش سطح زیر کشت و سود کشاورزی در منطقه کوثر قدس، بهبود عملکرد محصولات گندم، جو، گوجه‌فرنگی و برنج و کاهش نیاز آبی آن‌ها در اثر به‌کارگیری سناریو تطبیقی می‌باشد.

جدول ۳- تغییر الگوی کشت و سود کشاورزی مناطق پای پل و کوثر-قدس

Table 3- Change in cropping pattern and agricultural profit in Payepol and Kowsar-Quds

محصولات Crops	پای پل Payepol					کوثر-قدس Kowsar-Quds				
	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغیر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغییر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change
گندم Wheat	13195	12361.61	-6.32	13428.31	1.77	8784	7560.40	-13.93	8385.53	-4.54
جو Barley	3298	3118.31	-5.45	3426.46	3.90	652	574.42	-11.90	627.67	-3.73
کلزا Canola	115	110.11	-4.25	116.41	1.23	75	68.35	-8.87	72.65	-3.13
گوجه‌فرنگی Tomato	762	682.36	-10.45	719.61	-5.56	846	714.45	-15.55	780.37	-7.76
پیاز Onion	47	42.34	-9.91	44.16	-6.04	0	0	-	0	-
چغندرقند Sugar beet	227	220.27	-2.96	227.74	0.33	0	0	-	0	-
ماش Mung bean	430	344.81	-19.81	400.98	-6.75	30	0.00	-100	3.21	-89.30
خیار Cucumber	15	12.99	-13.40	13.54	-9.73	181	143.86	-20.52	163.47	-9.69
هندوانه Watermelon	1063	909.66	-14.43	969.02	-8.84	22	16.26	-26.09	17.36	-21.09
ذرت Maize	2858	2448.71	-14.32	2621.55	-8.27	0	0	-	0	-
برنج Rice	629	500.26	-20.47	565.10	-10.16	2468	1659.41	-32.76	2033.72	-17.60
کنجد Sesame	539	503.33	-6.62	529.10	-1.84	0	0	-	0	-
لوبیا Bean	0	0	-	0	-	142	128.39	-9.58	140.54	-1.03
مجموع Aggregate	23178	21254.76	-8.30	23061.98	-0.50	13200	10865.54	-17.69	12224.52	-7.39
سود (میلیارد ریال) Profit(Billion Rials)	464. 06	354. 28	-23.70	400. 82	-12.08	338. 07	210. 95	-37.60	247. 86	-26.68

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

بر اساس جدول (۴)، ناحیه کشاورزی حمیدیه بیشترین سطح زیر کشت محصول برنج را در میان نواحی کشاورزی دارد (۳۵۸۰ هکتار). گندم نیز با سطح زیر کشت ۹۷۰۱ هکتار مهم‌ترین محصول کشت زمستانه این منطقه می‌باشد؛ اما نتایج نشان می‌دهد که در این منطقه محصول برنج، بیشترین تغییر سطح زیر کشت را براثر تغییر اقلیم خواهد داشت. به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت این محصول حدود ۳۹ درصد کاهش می‌یابد. این موضوع با توجه به اینکه منطقه حمیدیه، قطب تولید برنج می‌باشد از اهمیت بالایی برخوردار بوده و می‌تواند بر عرضه محصول در بازارهای محلی تأثیرگذار باشد. در میان محصولات کشت زمستانه نیز بیشترین تغییر در مورد گوجه‌فرنگی و گندم رخ خواهد داد.

درمجموع می‌توان گفت که نسبت به مناطق پای پل و قدس-زمزم، تغییر اقلیم بر روی ناحیه کشاورزی حمیدیه تأثیر بسیار بیشتری دارد. به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت این منطقه به میزان ۵۱ درصد کاهش می‌یابد. این موضوع با توجه به کاهش حدود ۲۹ درصدی آب در دسترس و درنتیجه کاهش شدیدتر عملکرد محصولات در این منطقه قابل توجیه می‌باشد؛ اما نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بهبود راندمان آبیاری موجب افزایش سطح زیر کشت تمامی محصولات به ویژه برنج و گندم شده و از این بابت تا حدودی اثر تغییر اقلیم را خنثی می‌نماید. بنابراین با توجه به بهبود سطح زیر کشت و عملکرد این محصولات، سود ناشی از کل محصولات کشاورزی در منطقه حمیدیه حدود ۴۸ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

در میان نواحی مختلف کشاورزی، دشت آزادگان با ۱۶۳۲۷ هکتار بیشترین سطح زیر کشت گندم را دارد. محصولات جو و برنج نیز دیگر محصولات مهم این منطقه می‌باشند؛ اما با اعمال سناریو تغییر اقلیم، سطح زیر کشت گندم در این ناحیه به ۱۳۶۷۸ هکتار می‌رسد. این موضوع با توجه به استراتژیک و کشت غالب بودن این محصول، شکاف بزرگی در عرضه این محصول به بازار ایجاد خواهد نمود. در میان محصولات کشت تابستانه، برنج و هندوانه با ۳۸ و ۳۵ درصد کاهش سطح زیر کشت، بیشترین اثرات را از تغییر اقلیم خواهند گرفت. دلیل این امر کاهش عملکرد در کنار افزایش نیاز آبی این محصولات می‌باشد. با توجه به این اثرات، کشت این محصولات دیگر سودآوری گذشته را ندارد و کشاورزان ترجیح می‌دهند که مزارع خود را به‌صورت آیش نگه دارند.

اما اعمال استراتژی بهبود راندمان آبیاری در این ناحیه اثرات تغییر اقلیم را تا حدودی خنثی می‌نماید و سود کشاورزی منطقه حدود ۸۳ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. دلیل این نتیجه را نیز بهبود سطح زیر کشت گندم، جو و برنج (محصولات اصلی منطقه) به ترتیب به میزان ۵، ۷ و ۸ درصد می‌باشد.

بر اساس جدول ۵ می‌توان گفت که چون ناحیه کرخه نور در پایین‌دست زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی قرار دارد، با اعمال سناریو تغییر اقلیم، میزان آب در دسترس این منطقه به میزان ۳۲ درصد کاهش می‌یابد. از این‌رو منطقه کرخه نور بیشترین آسیب را از تغییر اقلیم خواهد دید و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در این منطقه به میزان ۲۳/۷۷ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج مربوط به تغییر سطح زیر کشت محصولات نشان می‌دهد که با رخ دادن تغییر اقلیم، محصول ماش به‌صورت کامل از الگوی کشت این منطقه حذف‌شده و سطح زیر کشت محصول برنج نیز به میزان ۴۵ درصد کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد در میان نواحی مختلف، بیشترین تغییر در سود کشاورزان ناحیه کرخه نور رخ داده و از ۷۱۷/۷۴ به ۲۹۳/۱۶ میلیارد ریال خواهد رسید. بر این اساس سود این ناحیه به میزان ۵۹/۱۵ درصد کاهش می‌یابد. مهم‌ترین دلیل کاهش سود کشاورزی در این منطقه کاهش شدید عملکرد محصولات کشت غالب (گندم، جو و برنج) و در نتیجه کاهش سطح زیر کشت آن‌ها می‌باشد؛ اما بهبود راندمان آبیاری در ناحیه کرخه نور تأثیر زیادی دارد و سطح زیر کشت محصولات را ۱۳۳ میلیارد ریال (حدود ۱۹ درصد) افزایش می‌دهد. با این‌حال، اعمال این سناریو در این ناحیه موجب اضافه شدن محصول ماش به الگو نشده است.

در نهایت، قسمت انتهایی جدول ۵ اثر تغییر اقلیم بر سطح زیر کشت را به تفکیک محصولات نشان می‌دهد. با مشاهده نتایج مشخص می‌شود که در میان محصولات کشت زمستانه، تغییر اقلیم بیشترین تأثیر را بر سطح زیر کشت دو محصول گندم و جو به‌عنوان محصولات اصلی زیر حوضه کرخه جنوبی داشته است و موجب کاهش سطح زیر کشت این محصولات به میزان ۱۵ و ۱۲ درصد می‌شود. در میان محصولات کشت زمستانه رایج در اکثر مناطق، تغییر اقلیم کمترین تأثیر را بر محصول کلزا گذاشته است. به‌طوری‌که سطح زیر کشت این محصول درمجموع حدود ۸ درصد کاهش‌یافته است. بر این اساس می‌توان کشت این محصول را به‌عنوان جایگزینی برای محصولاتی مانند جو و تا حدودی گندم معرفی نمود.

در میان محصولات کشت تابستانه نیز سطح زیر کشت برنج به میزان ۳۸ درصد کاهش یافته است. کشت سنتی این محصول در این ناحیه و نیاز آبی بالای آن از یک‌سو و تأثیرات شدید تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد این محصول از سوی دیگر، موجب کاهش بیشتر سطح زیر کشت این محصول نسبت به سایر محصولات شده است؛ اما بر اساس نتایج در میان محصولات این کشت، تغییر اقلیم کمترین تأثیر را بر محصول کنجد گذاشته است و سطح زیر کشت محصول کنجد به میزان ۶ درصد کاهش یافته است. بر این اساس و با توجه به نیاز آبی نسبتاً پایین محصول کنجد، این محصول می‌تواند جایگزین محصولات حساس به تغییر اقلیم در کشت تابستانه شود و از کاهش بیش‌ازحد سود کشاورزی در مناطق مختلف جلوگیری نماید.

جدول ٤- تغییر الگوی کشت و سود کشاورزی مناطق حمیدیه و دشت آزادگان

Table 4- Change in cropping pattern and agricultural profit in Hamidieh and Dasht e Azadegan

محصولات Crops	حمیدیه Hamidieh					دشت آزادگان Dasht e Azadegan				
	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغییر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغییر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change
گندم Wheat	9701	8043.64	-17.08	8650.90	-10.82	16327	13692.14	-16.14	14598.25	-10.59
جو Barley	412	351.74	-14.63	372.32	-9.63	2583	2260.12	-12.50	2450.22	-5.14
کلزا Canola	38	33.31	-12.34	33.82	-11.00	27	24.45	-9.44	24.77	-8.26
گوجه‌فرنگی Tomato	149	120.23	-19.31	129.23	-13.27	44	35.38	-19.59	39.90	-9.32
خیار Cucumber	76	54.18	-28.71	59.99	-21.07	0	0	-	0	-
هندوانه Watermelon	0	0	-	0	-	113	72.60	-35.75	81.79	-27.62
ذرت Maize	14	9.27	-33.79	10.67	-23.79	0	0	-	0	-
برنج Rice	3580	2176.68	-39.20	2683.29	-25.05	3233	1974.62	-38.92	2251.98	-30.34
کنجد Sesame	86	78.52	-8.70	80.25	-6.69	25	22.74	-9.04	24.00	-4.00
لوبیا Bean	29	25.40	-12.41	25.95	-10.52	15	13.51	-9.93	14.18	-5.47
مجموع Aggregate	14085	10892.97	-22.66	12046.42	-14.47	22367	18095.56	-19.10	19485.09	-12.88
سود (میلیارد ریال) Profit(Billion Rials)	317. 31	152. 61	-51.90	200. 07	-36.72	475. 62	267. 45	-43.76	350. 41	-26.32

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

از سوی دیگر نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که بهبود راندمان آبیاری تا حدودی موجب بهبود اثرات تغییر اقلیم در زیر حوضه کرخه جنوبی شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که به‌کارگیری این راهبرد درمجموع موجب افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به ۷۹۰۱ هکتار خواهد شد و سود فعالیت کشاورزی در زیر حوضه حدود ۳۴۷ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. همان‌طور که مشاهده شد به‌کارگیری این راهبرد، از یک‌سو موجب افزایش عملکرد و سود ناشی از کاشت محصولات اصلی مانند گندم، جو، ذرت و برنج در تمامی مناطق کشاورزی زیر حوضه کرخه جنوبی خواهد شد. از سوی دیگر استفاده از این راهبرد موجب صرفه‌جویی آب خواهد شد که می‌تواند مشکل کم‌آبی زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی را تا حدود زیادی برطرف نماید.

اما همان‌طور که در قسمت‌های قبل اشاره شد، بهبود راندمان کل آبیاری شامل اقدامات متعددی ازجمله بهبود کانال‌های آب‌رسانی و استفاده از روش‌های جدید آبیاری می‌باشد. اقداماتی مانند بهبود وضعیت کانال‌های آب‌رسانی توسط سازمان آب و برق خوزستان یا جهاد کشاورزی به‌عنوان متولی شبکه‌های آبیاری انجام خواهد گرفت. از این بابت هزینه‌ای متحمل کشاورزان نخواهد شد. همچنین با توجه به این موضوع که هزینه اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار توسط تسهیلات دولتی تأمین‌شده و ۸۵ درصد از تسهیلات دریافتی به‌صورت

کمک‌های بلاعوض بوده و از منابع دولتی تأمین می‌شود، به‌کارگیری آبیاری تحت فشار از لحاظ مالی هزینه زیادی را به کشاورزان وارد نمی‌نماید. بر این اساس راهکار فوق می‌تواند کاهش سود ناشی از تغییر اقلیم را تا حدودی جبران نماید.

جدول ۵- تغییر الگوی کشت و سود کشاورزی منطقه کرخه نور و زیر حوضه کرخه جنوبی

Table 5- Change in cropping pattern and agricultural profit in Karkheh Noor and South Karkheh Sub-Basin

محصولات Crops	کرخه نور Karkheh Noor					زیر حوضه کرخه جنوبی South Karkheh Sub-Basin				
	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغییر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change	حالت پایه Reference	تغییر اقلیم Climate change	درصد تغییر % Change	سناریو تطبیقی Adaptation Scenario	درصد تغییر % Change
گندم Wheat	15310	12072.20	-21.15	13521.72	-11.68	63317	53729.99	-15.14	58584.71	-7.47
جو Barley	3896	3211.65	-17.57	3464.47	-11.08	10841	9516.24	-12.22	10341.14	-4.61
کلزا Canola	23	19.76	-14.09	21.38	-7.04	278	255.98	-7.92	269.03	-3.23
گوجه‌فرنگی Tomato	79	60.09	-23.94	67.55	-14.49	1880	1612.51	-14.23	1736.66	-7.62
پیاز Onion	0	0	-	0	-	47	42.34	-9.91	44.16	-6.04
چغندرقند Sugar beet	0	0	-	0	-	227	220.27	-2.96	227.74	0.33
ماش Mung bean	24	0	-100	0	-100	484	344.81	-28.76	404.19	-16.49
خیار Cucumber	14	9.94	-29.00	10.47	-25.21	286	220.97	-22.74	247.47	-13.47
هندوانه Watermelon	62	36.31	-41.44	42.24	-31.87	1260	1034.83	-17.87	1110.41	-11.87
ذرت Maize	40	25.02	-37.45	30.95	-22.63	2912	2483.00	-14.73	2663.17	-8.54
برنج Rice	3040	1658.18	-45.45	2110.96	-30.56	12950	7969.15	-38.46	9645.05	-25.52
کنجد Sesame	303	268.57	-11.36	277.43	-8.44	953	873.16	-8.38	910.78	-4.43
لوبیا Bean	137	116.93	-14.65	123.37	-9.95	323	284.23	-12.00	304.04	-5.87
مجموع Aggregate	22928	17478.65	-23.77	19670.54	-14.21	95758	78587.48	-17.93	86488.55	-9.68
سود (میلیارد ریال) Profit(Billion Rials)	717. 74	293. 16	-59.15	426. 65	-40.55	2312. 80	1278. 45	-44.72	1625. 81	-29.70

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

نتیجه‌گیری

در این مطالعه پیامدهای سناریو تغییر اقلیم و استراتژی تطبیقی بهبود راندمان آبیاری بر سطح زیر کشت محصولات مختلف و سود کشاورزان در زیر حوضه کرخه جنوبی طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ با استفاده از یک مدل اقتصادی-هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بخش هیدرولوژیکی مدل نشان داد که با اعمال سناریو تغییر اقلیم B2 میزان آب در دسترس در مناطق مختلف کرخه جنوبی طی دوره شبیه‌سازی به‌صورت میانگین حدود ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. این امر در کنار افزایش نیاز آبی موجب کاهش عملکرد تمامی محصولات کشاورزی شده است. بیشترین کاهش عملکرد درکشت زمستانه مربوط به محصول گوجه‌فرنگی و درکشت تابستانه به محصول برنج اختصاص دارد؛ اما نتایج بخش اقتصادی نشان می‌دهد که با اعمال سناریو تغییر اقلیم مجموع سطح زیر کشت تمامی مناطق کاهش یافته به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در کل زیر حوضه کرخه جنوبی از ۹۵۷۵۸ هکتار به ۷۸۵۸۷ هکتار می‌رسد. این نتیجه را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که کشاورزان در مقابله با کاهش آب در دسترس که ناشی از تغییر اقلیم است، بخشی از زمین‌های زراعی را به‌صورت آیش گذاشته و بقیه زمین‌ها را به

کشت محصولات با سود بالاتر اختصاص خواهند داد. از آنجا که محصولات گندم، جو و برنج بیشترین سطح زیر کشت را در میان محصولات مختلف دارند، کاهش عملکرد این محصولات در اثر تغییر اقلیم، موجب کاهش سود کشاورزی به میزان ۴۴ درصد خواهد شد. اما در این مطالعه با توجه به پایین بودن راندمان آبیاری در زیر حوضه کرخه جنوبی، بهبود راندمان آبیاری به میزان ۲۰ درصد در تمامی مناطق کشاورزی به‌عنوان یک راهبرد تطبیقی برای کاهش آثار تغییر اقلیم ارائه شد. نتایج به‌کارگیری این راهبرد بیانگر تأثیر مثبت آن بر وضعیت اقتصاد کشاورزی مناطق مختلف زیر حوضه کرخه جنوبی می‌باشد. به‌گونه‌ای که با بهبود راندمان آبیاری، سود کشاورزی در کل زیر حوضه نسبت به حالت تغییر اقلیم، به میزان ۱۱ درصد افزایش خواهد یافت.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه پیشنهادهای زیر مطرح می‌گردد:

با توجه به آسیب‌پذیری بالای مناطق کرخه نور و حمیدیه نسبت به تغییر اقلیم، پیشنهاد می‌شود که منابع مالی پیش‌بینی‌شده برای بهبود راندمان آبیاری بخش کشاورزی به‌گونه‌ای تخصیص داده شوند که این نواحی از اولویت بالاتری نسبت به سایر مناطق برخوردار باشند. از سوی دیگر نتایج بیانگر کاهش شدید منابع آب در دسترس در زیر حوضه آبریز کرخه جنوبی در دوره‌های آتی است. در این شرایط به‌کارگیری روش‌های کم آبیاری در مناطق کرخه نور و حمیدیه که بیشترین کمبود آب در دسترس را داشته‌اند می‌تواند موجب پایداری و حفظ منابع آب زیر حوضه شود. همچنین نتایج نشان داد که محصول برنج آسیب‌پذیرترین محصول منطقه کرخه جنوبی در برابر تغییر اقلیم می‌باشد؛ اما بهبود راندمان آبیاری تا حدودی موجب بهبود اثرات تغییر اقلیم بر این محصول شده است. بنابراین استفاده از روش‌های جدید آبیاری محصول برنج مانند خشکه کاری می‌تواند ضمن کاهش مصرف آب، تأثیر زیادی بر وضعیت درآمد کشاورزی و همچنین وضعیت هیدرولوژیکی زیر حوضه آبریز بگذارد.

منابع

1- Agarwal S., Patil J.P., Goyal V.C., and Singh A. 2019. Assessment of Water Supply–Demand Using Water Evaluation and Planning (WEAP) Model for Ur River Watershed, Madhya Pradesh, India. Journal of the Institution of Engineers (India) 100(1): 21-32.

2- Aldy J.E., and Pizer W.A. 2015. The competitiveness impacts of climate change mitigation policies. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists 2(4): 565-595.

3- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

4- Ashraf Vaghefi S., Mousavi S.J., Abbaspour K.C., Srinivasan R., and Yang H. 2014. Analysis of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. Hydrological Processes 28(4): 2018-2032.

5- Bagheri Harooni M.H., and Morid S. 2013. Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case Study: Tlavar river). Journal of Water and Soil Conservation 20(1): 151-168. (In Persian with English abstract)

6- Cetinkaya C.P., and Gunacti M.C. 2018. Multi-criteria analysis of water allocation scenarios in a water scarce basin. Journal of Water Resources Management 32(8): 2867-2884.

7- Deylami A., Joolaie R., Rezaee A., and Keramatzadeh A. 2019. Investigating the Effects of Climate Change on the Yield, Gross Margin and Cropping Pattern of Gorgan County. Journal of Agricultural Economics 13(2): 137-160.

8- Doherty J. 2016. Model-Independent Parameter Estimation User Manual Part I: PEST. SENSAN and Global Optimisers, PEST Manual, Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia.

9- Esteve P., Varela-Ortega C., Blanco-Gutiérrez I., and Downing T.E. 2015. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Journal of Ecological Economics 120: 49-58.

10- Farajzadeh M., Madani K., Massah A.R., and Davtalab R. 2014. Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. Journal of Water and Soil Resources Conservation 3(3): 49-63. (In Persian with English abstract)

11- Forni L.G., Medellín-Azuara J., Tansey M., Young C., Purkey D., and Howitt R. 2016. Integrating complex economic and hydrologic planning models: An application for drought under climate change analysis. Water Resources and Economics 16: 15-27.

12- Ghobadi Y., Pradhan B., Shafri H.Z.M., and Kabiri K. 2015. Assessment of spatial relationship between land surface temperature and landuse/cover retrieval from multi-temporal remote sensing data in South Karkheh Sub-basin, Iran. Arabian Journal of Geosciences 8(1): 525-537.

13- Hoseini S.S., Nazari M.R., and Araghinejad S. 2013. Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research 44(1): 1-16. (In Persian with English abstract)

14- Howitt R.E. 1995. A calibration method for agricultural economic production models. Journal of Agricultural Economics 46(2): 147-159.
15- Howitt R.E. 2005. Agricultural and environmental policy models: Calibration, estimation and optimization. *Davis: University of California, Davis.* Available online at http://www. agecon. ucdavis. edu/people/faculty/facultydocs/howitt/master. pdf.
16- Iglesias A., and Garrote L. 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. Agricultural Water Management 155: 113-124.
17- Iran Water & Power Resources Development Company, 1389. Systematic Studies of Karkheh River Basin .Water Resources Planning Studies, Volume 5. (In Persian)
18- Jabloun M., and Sahli A. 2012. WEAP-MABIA tutorial: a collection of stand-alone chapters to aid in learning the WEAP-MABIA module. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover, Germany.
19- Jamali S., Abrishamchi A., Marino M.A., and Abbasnia A. 2012. Climate change impact assessment on hydrology of Karkheh Basin, Iran. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management (166(2): 93-104). Thomas Telford Ltd.
20- Kermanshahi S., Davari K., Hasheminia S.M., Farid Hosseini A., and Ansari H. 2013. Using the WEAP Model to Assess the Impact of Irrigation Water Use Management on Water Resources of Neyshabour Plane. Journal of Water and Soil 27(3): 495-505. (In Persian with English abstract)
21- Khalilian S., Shemshadi K., Mortazavi S.A., and Ahmadian M. 2014. Investigating Welfare Effect of Climate Change on the Wheat Products in Iran. Journal of Agricultural Economics and Development 28(3): 292-300. (In Persian with English abstract)
22- Khosravi M., Esmaelnejad M., and Nazaripour H. 2010. Climate Change and effects on water resource of Middle East. 4th International Congress of the Islamic World Geographers, 4 April. 2010. Zahedan, Iran. (in Persian with English abstract)
23- Kouzegaran S., and Mousavi Baygi M. 2015. Investigation of meteorological extreme event in the North-East of Iran. Journal of Water and Soil 29(3): 750-764.
24- Mahmoodi A., and Parhizkari A. 2018. Economic Analysis of the Climate Change Impacts on Products Yield, Cropping Pattern and Farmer's Gross Margin (Case Study: Qazvin Plain). Growth and Development of Rural & Agricultural Economics 2(2): 25-40. (In Persian with English abstract)
25- Mehta V.K., Haden V.R., Joyce B.A., Purkey D.R., and Jackson L.E. 2013. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. Journal of Agricultural Water Management 117: 70-82.
26- Molden D., Oweis T.Y., Pasquale S., Kijne J.W., Hanjra M.A., Bindraban P.S., and Hachum A. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity (No. 612-2016-40552).
27- Mozaffari M.M., Parhizkari A., Hoseini Khodadadi M., and Parhizkari R. 2015. Economic Analysis of the Effects of Climate Change Induced by Greenhouse Gas Emissions on Agricultural Productions and Available Water Resources (Case Study: Down Lands of the Taleghan Dam). Journal of Agricultural Economics and Development 29(1): 68-85. (In Persian with English abstract)
28- Ngo L.A., Masih I., Jiang Y., and Douven W. 2018. Impact of reservoir operation and climate change on the hydrological regime of the Sesan and Srepok Rivers in the Lower Mekong Basin. Journal of Climatic Change 149(1): 107-119.
29- Nigussie Y., van der Werf E., Zhu X., Simane B., and van Ierland E.C. 2018. Evaluation of climate change adaptation alternatives for smallholder farmers in the Upper Blue-Nile Basin. Journal of Ecological Economics 151: 142-150.
30- Paris Q., and Howitt R.E. 1998. An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy. American Journal of Agricultural Economics 80 (1): 124-138.
31- Roham O., and Dabbert S. 2003. Integrating Agri-Environmental Programs into Regional production Models: an Extension of Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics 85(1): 254-265.
32- Safavi H.R., and Gol Mohammadi M.H. 2016. Evaluating the Water Resource Systems Performance Using Fuzzy Reliability, Resilience and Vulnerability. Journal of Iran-Water Resources Research 12(1): 68-83. (In Persian with English abstract)
33- Sagardoy J.A. 2000. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems (No. 59). Food and Agriculture Organization.
34- Sarzaeim P., Bozorg-Haddad O., Fallah-Mehdipour E., and Loáiciga H.A. 2017. Climate change outlook for water resources management in a semiarid river basin: the effect of the environmental water demand. Journal of Environmental Earth Sciences 76(14): 498.
35- Shahraki J., Sardar Shahraki A., and Hashemi Monfared S.A. 2018. Economic impact assessment of water resources management scenarios in Pishin catchment. Journal of Agricultural Economics Research 10(40): 59-84. (In Persian with English abstract)
36- Sieber J., Swartz C., and Huber-Lee A.H. 2005. Water evaluation and planning system (WEAP): User guide.

Stockholm Environment Institute, Boston.
37- Wang J. 2010. Food security, food prices and climate change in China: A dynamic panel data analysis. Journal of Agriculture and Agricultural Science Procedia 1: 321-324.
38- Zahraei B. 2015.Analysis of Climate Change Impacts on Precipitation and Surface Runoffs in Karkheh River Basin. Research project, College of Engineering, University of Tehran. (In Persian with English abstract)

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 1, Spring 2020, p. 63-79

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۷۹-۶۳

Assessing the Effects of Climate Change on Hydrological and Economic Conditions of South Karkheh Sub-basin

S. Nikmehr[1]*- M. Zibaei[2]
Received: 14-12-2019
Accepted: 01-02-2020

Introduction: Water resources are under increasing pressure from climate change, population growth, and socio-economic development. Recent assessments have revealed that climate change accounts for about 20% of the increased water scarcity. Due to the impacts of climate change on water resources, agriculture is one of the most important sectors of the economy affected by this event. Accordingly, food security threatened by climate change is one of the most important challenges of the 21st century to provide sufficient food for population growth. Because of the abundant effects of climate change and water scarcity on farmers' welfare, different strategies have been adopted to adapt to these changes. Adaptation can be defined as: “adjustment in ecological, social or economic systems in response to actual or expected climatic drivers and their effects or impacts. Climate change phenomenon has occurred in Iran during recent decades and it will continue in the future with greater intensity based on the seventh report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In other words, Iran’s aridity has been exacerbated by the climatic change to pose serious threats to its water resources and the ability to meet its residential, environmental, industrial, and agricultural water demands. In this regard, improved irrigation efficiency is vital for alleviating water scarcity and can be an adaptation strategy to climate change for this country due to water losses account for at least 45% of the water used in Iran's irrigated agriculture, which arises from inefficient irrigation systems.

Materials and Methods: The Karkheh River Basin (KRB) is one of the largest watersheds in Iran after Karoon and Dez. It is located on the western border of the country in a strategic position. This watershed consists of five sub-basins, namely Kashkan, Qarasou, Gamsiab, Seymareh, and South Karkheh. The Karkheh River Basin deal with water shortage through the frequent droughts in the region over the past decades, leading to major water deficit in downstream of the basin. Also, Climate change is expected to exacerbate the current water problems in KRB. Such ways that, 10-30% decrease in the runoff by mid-century is estimated in this basin thanks to less precipitation and higher evapotranspiration. The aim of current research is to evaluate the potential effects of climate change on irrigated agriculture and irrigation efficiency improvement strategy for adaptation in South Karkheh sub-basin using a hydro-economic model. This model integrates the strengths of the Positive Mathematical Programming (PMP), and Water Evaluation and Planning (WEAP) as a hydrological model. The MABIA module within WEAP was also used to simulate the impacts of climate change scenarios and water availability scenarios on crop yield. The hydro-economic model simulation starts with run WEAP-MABIA model for hydrological simulation of South Karkheh sub-basin. For this purpose, Model calibration was carried out using the PEST method. The Zahraei’s climate change scenarios (2015) were then used as input to the WEAP-MABIA model. Finally, results of the WEAP- MABIA were used as input to the Positive Mathematical Programming model to investigate the effects of climate change scenarios and adaptation strategy (improvement of irrigation efficiency) on the crop patterns and farmers’ profit. Required data for this study were collected from various sources. The data related to the Hydrological aspect was obtained from Khuzestan Water and Power Authority (KWPA) and Khuzestan Meteorological Office for the base period 1960-2018. Also, the required economic data were obtained through interviews with 180 farmers which randomly selected in Karkheh basin and Agriculture Organization of Khuzestan province.

Results and Discussion: The results of the WEAP model show that climate change will decrease the availability of water in agricultural areas of south Karkheh sub-basin. But the impact of climate change varies across regions. So that the water available in Payepol and Karkheh-Noor is reduced by 8.29% and 32.76% respectively. The MABIA method results also indicated that the B2 climate change scenario in the 2018–2050 periods may have a severe impact on crop yields and irrigation water requirements.The MABIA method results also showed that the climate change scenario will likely lead to crop yield decreases, ranging between 1.5% and 34.05%. These changes in crop yields would be accompanied by increases in irrigation water requirements ranging between 1.11% and 22.43%, for all crops. A strategy to improve irrigation efficiency will mitigate the

1 and 2- Ph.D. Student of Environmental and Natural Resources Economics and Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Fars, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: s_nikmehr@yahoo.com)

effects of climate change on the performance of different crops (especially rice crops). The results show that applying this strategy does not have a significant impact on the pure water requirement (actual evapotranspiration of products). In fact, applying this scenario (improving irrigation efficiency by 20%) will reduce gross water requirement by preventing water loss. Finally, results of the Positive Mathematical Programming showed that the total irrigated crop area is reduced under climate change by 17.93%. Therefore, Total agricultural profits decrease by 44% under climate change, compared to the reference scenario. The Karkheh Noor irrigation area faces the largest reductions in crop area. Also, this area shows the largest reduction in agricultural profits (59.9%). In contrast, the smallest decrease in crop area and agricultural profits have occurred in Payepol. But the reduction of water use due to the improving irrigation efficiency will increase the profit of agricultural activity in the Karkheh sub-basin by 340 billion Rials.

Conclusion: This research has tried to contribute to the analysis of climate change impacts and adaptation by addressing the processes that occur at the sub-basin level. The Karkheh sub-basin case study, an illustrative example of critical water and climate interactions, permitted to illustrate climate change vulnerability and adaptation. The results of this study showed that Climate change can affect South Karkheh sub-basin's agriculture through changes in water resource flows and allocations. These changes impose remarkable economic costs on farmers. But the application of on-farm adaptation option via investment in improved irrigation efficiency technology does reduce the impact of climate variability. Therefore, this research demonstrates that the implementation of such a policy, can support adaptation and reduce the risk faced by farmers in light of climate change.

Keywords: Adaptation Scenario, Climate change, PMP method, South Karkheh sub-basin, WEAP model